

PATENT APPLICATION

84  
02-13-02

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of

Koji SUZUKI

Application No.: 09/970,763

Group Art Unit: 2812

Filed: October 5, 2001

Docket No.: 110596

For: APPARATUS AND METHODS FOR PROCESSING SURFACE OF  
SEMICONDUCTOR SUBSTRATE

CLAIM FOR PRIORITY

Director of the U.S. Patent and Trademark Office  
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 2000-307237 filed on October 6, 2000

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application:

  X   is filed herewith.

       was filed on        in Parent Application No.        filed       .

       will be filed at a later date.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

James A. Oliff

Registration No. 27,075

Edward A. Brown

Registration No. 35,033

JAO:EAB/ldg

Date: November 28, 2001

**OLIFF & BERRIDGE, PLC**  
**P.O. Box 19928**  
**Alexandria, Virginia 22320**  
**Telephone: (703) 836-6400**

**DEPOSIT ACCOUNT USE  
AUTHORIZATION**

Please grant any extension  
necessary for entry;

Charge any fee due to our  
Deposit Account No. 15-0461



01F00075

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年10月 6日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-307237

出 願 人

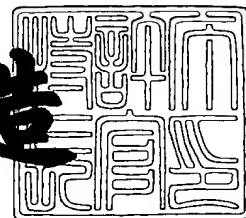
Applicant(s):

川崎製鉄株式会社

2001年 8月31日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3079758

【書類名】 特許願

【整理番号】 00J00622

【提出日】 平成12年10月 6日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/3065

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 3 号 川崎製鉄株式会  
社東京本社内

    【氏名】 鈴木 康嗣

【特許出願人】

    【識別番号】 000001258

    【氏名又は名称】 川崎製鉄株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100080159

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 渡辺 望稔

    【電話番号】 3864-4498

【選任した代理人】

    【識別番号】 100090217

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 三和 晴子

    【電話番号】 3864-4498

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 006910

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9712299

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体製造装置、被処理基板表面の処理方法およびプラズマ生成物の付着状態の観察方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ中の荷電粒子を、バイアス電圧によって制御されたエネルギーで被処理基板表面に入射させて、被処理基板表面を処理する半導体製造装置であって、

チャンバ内のガス雰囲気、第1の電磁波を印加して前記プラズマを生成するプラズマ源と、前記被処理基板に前記プラズマ中の荷電粒子を入射させるために第2の電磁波を印加して前記バイアス電圧を発生させるバイアス源と、前記バイアス電圧を測定する測定手段と、少なくとも前記第1の電磁波の電力を制御することによって前記バイアス電圧を所定範囲内に保持する制御手段とを有することを特徴とする半導体製造装置。

【請求項2】

前記測定手段が、前記バイアス電圧を測定する第1の測定手段に加えて、前記プラズマからこのプラズマが接する前記チャンバ内壁もしくはアース電極に流れるアース電流を測定する第2の測定手段を含み、前記制御手段が、前記アース電流の測定結果に基づいて、前記第1の電磁波の電力と第2の電磁波の電力とのいずれかを制御することによって、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持することを特徴とする請求項1に記載の半導体製造装置。

【請求項3】

チャンバ内のガス雰囲気、第1の電磁波を印加してプラズマを生成すると共に、第2の電磁波を印加してバイアス電圧を発生させ、被処理基板の表面に、前記プラズマ中の荷電粒子を、前記バイアス電圧によって制御されたエネルギーで入射させ、被処理基板の表面を処理する方法であって、

この処理の少なくとも一時期に、前記バイアス電圧を測定すると共に、少なくとも前記第1の電磁波の電力を制御して該バイアス電圧を所定範囲内に保持することを特徴とする被処理基板表面の処理方法。

【請求項4】

前記バイアス電圧に加えて、前記プラズマからこのプラズマが接する前記チャンバ内壁もしくはアース電極に流れるアース電流を測定すると共に、該アース電流の測定結果に基づいて、前記第1の電磁波の電力と第2の電磁波の電力とのいずれかを制御して、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持することを特徴とする請求項3に記載の被処理基板表面の処理方法。

【請求項5】

前記第1の電磁波の電力の制御によって、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持することができない時に、さらに、前記第2の電磁波の電力を制御して前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持することを特徴とする請求項3に記載の被処理基板表面の処理方法。

【請求項6】

測定された前記バイアス電圧が前記所定範囲の上限を上回る場合に前記第1の電磁波の電力を増大させ、前記所定範囲の下限を下回る場合に前記第1の電磁波の電力を減少させ、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持することを特徴とする請求項3～5のいずれかに記載の被処理基板表面の処理方法。

【請求項7】

チャンバ内のプラズマ生成物の付着状態を観察する方法であって、  
前記チャンバ内のガス雰囲気中に電磁波を印加してプラズマを生成すると共に、前記プラズマからこのプラズマが接する前記チャンバ内壁もしくはアース電極に流れるアース電流を測定することによって、前記チャンバ内壁もしくは前記アース電極へのプラズマ生成物の付着状態を観察する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体製造装置、被処理基板表面の処理方法およびプラズマ生成物の付着状態の観察方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、微細加工用のプラズマエッチング装置は、被エッチング膜に合わせたプ

ロセスガスをチャンバ内に導入し、マイクロ波や、13.56MHz、27MHzあるいは60MHz等の高周波でプラズマを生成し、その一方でウェハが設置される電極にバイアス電圧を印加することにより、プラズマからウェハに入射するイオンエネルギーを制御しつつ、被エッチング膜の異方性加工を実現してきた。これらの代表的な放電形式として、ECR (Electron Cyclotron Resonance)、ICP (Inductive Coupled Plasma) があり、低圧で高密度のプラズマを得ることが出来る。

## 【0003】

以下に、ECR励起を利用した従来のプラズマエッチング装置を説明する。

図5は、ECR励起を利用したプラズマエッチング装置100のチャンバ構造を模式的に示した断面図である。図中参照番号21はチャンバを示している。チャンバ21の内壁は、石英内筒21aで覆われ絶縁されているため、余剰の電荷を吸収するためアース電極21bが、設置されている。チャンバ21の上部には空洞共振部22が形成され、空洞共振部22は、例えば石英天板23で封止されている。石英天板23の下部に石英天板に平行にガスシャワープレート24が配設されており、石英天板23とガスシャワープレート24との間にはわずかに隙間がある。この隙間にガス導入管（図示せず）が接続され、ガス導入管よりプロセスガスが導入される。

## 【0004】

空洞共振部22には導波管26が接続され、導波管26の他端部は第1の電磁波であるマイクロ波を供給する第1の電磁波の供給源（マイクロ波供給源）25に接続されている。導波管26の一端部、空洞共振部22、およびチャンバ21の一部の周囲にはこれらと同心状にコイル27a、27b、27cが配設されており、コイル27a、27b、27cには直流電源（図示せず）が接続されている。これらの空洞共振部22、マイクロ波を供給するマイクロ波供給源25、導波管、コイル27a、27b、27等を含んで、プラズマ源20が構成されている。

## 【0005】

ガスシャワープレート24は、チャンバ21上部に接続されており、ガスシャ

ワープレート 24 には同心状に小孔が形成されている。図示しないガス導入管から供給された各種のプロセスガスが、ガスシャワープレート 24 からチャンバ 21 内に供給される。そして、可変コンダクタンスバルブ 32 を介して真空ポンプ 34 で排気を行うことにより、チャンバ 21 内の圧力が制御される。チャンバ 21 の中央部には、下部電極 28 が配設され、下部電極 28 の上部が被処理基板を保持できる試料台となっている。下部電極 28 には第 2 の電磁波である高周波 (RF) を印加してバイアス電圧を発生させるための高周波 (RF) 電源 29 が接続され、この高周波電源 29 は接地されている。この高周波電源 29 によりバイアス源が構成される。

#### 【0006】

このように構成されたプラズマエッチング装置 100 を用いて被処理基板をエッチングする場合、まず、チャンバ 21 を減圧し、真空にしたチャンバ 21 内に図示しないガス導入管よりプロセスガスを導入し、圧力を所定値に制御する。そしてコイル 27a、27b、27c に直流電流を供給して空洞共振部 22 に磁界を形成すると共に、マイクロ波供給源 25 より、例えば 2.45 GHz のマイクロ波を、導波管 26 を介して空洞共振部 22 に導入する。この磁界とマイクロ波との相互作用によりプラズマが形成される。そして、下部電極 28 に高周波電源 29 より高周波電力を印加してバイアス電圧を発生させ、下部電極 28 上部の試料台に保持される被処理基板に、プラズマ中の荷電粒子 (イオン) や中性活性粒子 (ラジカル) を入射して、エッチングが行われる。このイオンの入射エネルギーは、高周波電源 29 により下部電極 28 に発生させたバイアス電圧により制御される。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ところで、このようなプラズマエッチング装置においても、半導体加工の微細化に伴い、エッチングプロセスに対する要求 (例えば、低マイクロローディング効果、高選択性、高再現性、高精度加工) はますます厳しくなっている。しかし、これらの要求項目はトレードオフの関係が複雑に絡んでおり、全てを満たす安定領域は極めて狭い。そして、この安定領域でさえ、エッチング生成物の蓄積に



より経時的にシフトしてしまうのが現状である。

【0008】

例えば、上述のプラズマエッチング装置100での酸化膜エッチングにおいては、アース電極21bの表面は、プラズマからのイオン衝撃やエッチング生成物の付着の影響を受けるため、アース能力が経時的に低下していく。その結果、次第にチャンバ21内のイオン密度が増加し、バイアスとして一定電力を印加する下部電極28のバイアス電圧のピークツウピーク電圧（以下、単に $V_{pp}$ という）は低下する。 $V_{pp}$ の低下は被処理基板であるウェハに入射するイオンエネルギーを低下させるため、マイクロローディング効果（狭スペースのエッチレート低下）が増長される。

【0009】

まず、上述のプラズマエッチング装置100におけるホール加工では、基板やシリサイド層、あるいはSAC構造では窒化膜に対して、高選択性を確保する必要性から、 $C_4F_8$ のようなC/F比の高いガスを用い、エッチングがフルオロカーボン膜のデポより若干優勢となるところでプロセスを構築している。このため、イオンエネルギーが低下すると、エッチングよりデポが優勢となりエッチングストップが生じることがある。

【0010】

また、素子分離（LOCOS形成）のための窒化膜エッチングやゲートエッチングでは、下地の薄い酸化膜や酸窒化膜に対して選択性よくエッチングすることが要求される。ここでも、アース能力が低下すれば、マイクロローディング効果が増長される。

【0011】

図6は、窒化膜エッチングにおいて、マイクロローディング効果によりエッチング残りが発生した事例を示す。図6は、上より順に、ウェハの同一面内のトップ、レフト、センタ、ライト、ボトムを撮影したものである。全て同じアクティブパターンを示している。白い部分がエッチングされた部分である。例えばセンタの中央には大きくエッチングされた白い部分が見え、その両脇は黒く見える。この黒い部分には、本来ならボトムでは明らかに見える中央両脇の細長いスリッ

トがエッチングされている部分であるが、マイクロローディング効果によりエッチングが十分にされなかったため、窒化膜が残ってしまい黒く見えている。

このように、 $V_{pp}$ の低下はウェハに入射するイオンエネルギーを低下させ、狭スペースのエッチレート低下が増長される。

#### 【0012】

メンテナンスによりアース電極を交換することでアース能力は回復するが、パーツの個体差等によりそれまで以上にアース能力が回復した場合には、チャンバ内のプラズマのイオン密度が低下し、設定電力を維持しようと下部電極の $V_{pp}$ が増加する。この結果、入射イオンエネルギーが増大し、下地選択性が悪化する。

#### 【0013】

図7は、アース電極の交換により $V_{pp}$ が増加し窒化膜エッチングにおいて下地酸化膜抜けが発生した事例を示す。図7は、上より順に、ウェハの同一面内のトップ、レフト、センタ、ライト、ボトムを撮影したものである。トップ、レフト、センタ、ライト、ボトム、それぞれ中央にレジストに覆われて黒く見える部分があるが、その両脇に虫食い状の孔が見える。これらは、パッド酸化膜を破ってシリコン基板までエッチングが進んでしまった部分である。

#### 【0014】

上述の図6、7により具体的に示す事例は、長期的な変動の結果を示しているが、短期的な変動としてロット内のウェハ間やロット間の変動が存在する。

半導体製造装置の歩留まり低下の一因に、チャンバ内付着物に起因する異物の落下がある。これを防ぐために、定期的なプラズマクリーニングが実施される。しかし、プラズマクリーニング直後のアース電極表面は清浄であるが、ウェハ処理の進行と共に付着物の影響等でアース能力は低下し、上述のようなマイクロローディング効果や下地酸化膜抜けといった大きなトラブルに至らないまでも、微細加工の再現性のレベル（寸法や下地選択性のシフト等）について影響が出てくる。

#### 【0015】

プロセス中に、ウェハに入射するイオンのエネルギーが変動するという上述の従来技術の問題に対し、これまで、下部電極に高周波（RF）電力を供給する高周

波（RF）電源の電力を制御することにより、 $V_{pp}$ を一定の所定値にして、エッチングレートを制御する方法（特開平8-199378号公報）等が提案されている。しかし、高周波電力を $V_{pp}$ が一定になるように制御を行うと、処理状態によっては、高周波電力の過剰供給または供給不足になってしまい、エッチング性能、特に形状制御が出来なくなるという問題がある。

## 【0016】

## 【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、常に一定のエッチングレートでプロセスを維持することができ、低マイクロローディング効果、高下地選択性、高再現性、高精度加工を可能とする半導体製造装置、被処理基板表面の処理方法、およびこれらを可能とするために半導体製造装置内におけるプラズマ生成物の付着状態を観察する方法を提供することである。

## 【0017】

## 【課題を解決するための手段】

一般的に、プロセス中にイオン密度が変動しウェハへの入射イオンエネルギーが変動する結果起きる、マイクロローディング効果の増大、下地選択性の悪化、微細加工の再現性の低下等の従来技術の問題は、チャンバ壁またはアース電極とプラズマとの相互作用の経時変化にある。

## 【0018】

本発明者は、この経時変化は、直接的にはチャンバ壁またはアース電極に流れるアース電流を測定することで監視することができ、間接的には、被処理基板を載置する下部電極側に印加されるバイアス電圧を測定することで監視することができることを知見し、さらに、チャンバ内壁またはアース電極とプラズマとの相互作用の経時変化は避けがたいものであるものの、バイアス電圧を監視し、その値が所定範囲に保持されるよう、マイクロ波を供給する電磁波（プラズマ波）供給源の電力を制御することにより、チャンバ内のプラズマ中の荷電粒子（イオン）密度を補償することが可能であり、それにより、従来技術の問題を解決し、上記目的を達成できることを知見し、本発明を完成した。

## 【0019】

すなわち、本発明は、プラズマ中の荷電粒子を、バイアス電圧によって制御されたエネルギーで被処理基板表面に入射させて、被処理基板表面を処理する半導体製造装置であって、

チャンバ内のガス雰囲気、第 1 の電磁波を印加して前記プラズマを生成するプラズマ源と、前記被処理基板に前記プラズマ中の荷電粒子を入射させるために第 2 の電磁波を印加して前記バイアス電圧を発生させるバイアス源と、前記バイアス電圧を測定する測定手段と、少なくとも前記第 1 の電磁波の電力を制御することによって前記バイアス電圧を所定範囲内に保持する制御手段とを有することを特徴とする半導体製造装置を提供する。

【 0 0 2 0 】

前記測定手段が、前記バイアス電圧を測定する第 1 の測定手段に加えて、前記プラズマからこのプラズマが接する前記チャンバ内壁もしくはアース電極に流れるアース電流を測定する第 2 の測定手段を含み、前記制御手段が、前記アース電流の測定結果に基づいて、前記第 1 の電磁波の電力と第 2 の電磁波の電力とのいずれかを制御することによって、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持するのが好ましい。

【 0 0 2 1 】

また、本発明は、チャンバ内のガス雰囲気、第 1 の電磁波を印加してプラズマを生成すると共に、第 2 の電磁波を印加してバイアス電圧を発生させ、被処理基板の表面に、前記プラズマ中の荷電粒子を、前記バイアス電圧によって制御されたエネルギーで入射させ、被処理基板の表面を処理する方法であって、

この処理の少なくとも一時期に、前記バイアス電圧を測定すると共に、少なくとも前記第 1 の電磁波の電力を制御して該バイアス電圧を所定範囲内に保持することを特徴とする被処理基板表面の処理方法を提供する。

【 0 0 2 2 】

前記バイアス電圧に加えて、前記プラズマからこのプラズマが接する前記チャンバ内壁もしくはアース電極に流れるアース電流を測定すると共に、該アース電流の測定結果に基づいて、前記第 1 の電磁波の電力と第 2 の電磁波の電力とのいずれかを制御して、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持するのが好ましい

## 【0023】

前記第1の電磁波の電力の制御によって、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持することができない時に、さらに、前記第2の電磁波の電力を制御して前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持するのが好ましい。

## 【0024】

測定された前記バイアス電圧が前記所定範囲の上限を上回る場合に前記第1の電磁波の電力を増大させ、前記所定範囲の下限を下回る場合に前記第1の電磁波の電力を減少させ、前記バイアス電圧を前記所定範囲内に保持するのが好ましい。

## 【0025】

さらに、本発明は、チャンバ内のプラズマ生成物の付着状態を観察する方法であって、前記チャンバ内のガス雰囲気中に電磁波を印加してプラズマを生成すると共に、前記プラズマからこのプラズマが接する前記チャンバ内壁もしくはアース電極に流れるアース電流を測定することによって、前記チャンバ内壁もしくは前記アース電極へのプラズマ生成物の付着状態を観察する方法を提供する。

## 【0026】

## 【発明の実施の形態】

本発明にかかる半導体製造装置、被処理基板表面の処理方法およびプラズマ生成物の付着状態を観察する方法を添付の図面に示す好適実施例に基づいて以下に詳細に説明する。

図1は、本発明の被処理基板表面の処理方法およびプラズマ生成物の付着状態を観察する方法を実施する本発明の半導体製造装置の一実施例にかかるECRプラズマエッチング装置である。なお、本発明は図示例に限定されないのはもちろんである。

図1に示すプラズマエッチング装置10は、図5に示すプラズマエッチング装置100と、電流測定手段30aおよび電圧測定手段30bを含む測定部30ならびに制御部31を備えている点を除いては、同一の構成を有しているので、同一の構成要素には同一の参照符号を付し、その詳細な説明は省略し、主として相

違点について説明する。

【0027】

図1に示すプラズマエッチング装置10は、測定部30を有し、この測定部30はプラズマ源20により供給されるプラズマからこのプラズマが接するアース電極21bに流れるアース電流を測定する電流測定手段30aと、高周波(RF)電源29により下部電極28に印加された電磁波により発生するバイアス電圧を測定する電圧測定手段30bとの両方を備える。しかし、本発明はこれに限定されず、測定部30は、少なくとも電圧測定手段30bを備えていればよい。従って、本発明においては、測定部30は、少なくともバイアス電圧を測定するものであればよい。

【0028】

アース電極21bには、アース電流を測定するための電流測定手段30aの一端部が接続されており、電流測定手段30aの他端部は接地されている。また、電流測定手段30aは、制御部31に接続されている。

下部電極28には、バイアス電圧を測定する電圧測定手段30bの一端部が接続されており、電圧測定手段30bの他端部は接地されている。また、電圧測定手段30bは、制御部31に接続されている。電圧測定手段30bは、バイアス電圧のピーク電圧( $V_{pp}$ )を測定するものであってもよい。

【0029】

制御部31は、導波管26や空洞共振部22等にマイクロ波を供給するマイクロ波供給源25に接続されている。

アース電流とバイアス電圧とについて、予め、基準アース電流値を中心値として含む許容される所定範囲と、基準バイアス電圧値を中心値として含む許容される所定範囲が設定されている。電圧測定手段30bにより測定されたバイアス電圧に対応する入力信号が、もしくはさらに、電流測定手段30aにより測定されたアース電流に対応する入力信号が、制御部31に入力され、測定されたバイアス電圧は所定範囲に入っているかが判断され、これに応じてマイクロ波供給源25の供給電力量の増減を指示する信号がマイクロ波供給源25に入力される。

すなわち、測定されたバイアス電圧が、所定範囲の上限を上回る場合にマイク

口波供給源 2 5 の電力を増大させ、所定範囲の下限を下回る場合にマイクロ波供給源 2 5 の電力を減少させ、バイアス電圧を所定範囲内に保持する。

これによりプラズマエッチング装置 1 0 では、バイアス電圧を所定範囲内に保持することができる。

#### 【 0 0 3 0 】

図 1 のプラズマエッチング装置 1 0 では、制御部 3 1 が下部電極に高周波を印加してバイアス電圧を発生させる高周波電源 2 9 にも接続されている。これにより、制御部 3 1 に入力されるバイアス電圧の測定値に基づいて、マイクロ波供給源 2 5 の電力の増減を指示する信号をマイクロ波供給源 2 5 に入力するのみではなく、高周波電源 2 9 の電力の増減を指示する信号を高周波電源 2 9 に入力することもできる。

#### 【 0 0 3 1 】

例えば、電圧測定手段 3 0 b により測定されたバイアス電圧が所定範囲の上限を上回っている場合であっても、高周波電力を制御することが適切であると判断した場合には、高周波電源 2 9 の電力を減少させるよう、制御部 3 1 から高周波電源 2 9 に信号が入力される。同様に、バイアス電圧が所定範囲の下限を下回っている場合であっても、高周波電力を制御することが適切であると判断した場合には、高周波電源 2 9 の電力を増大させるよう、制御部 3 1 から高周波電源 2 9 に信号が入力される。これにより、バイアス電圧を所定範囲内に保持することができる。

このように高周波電力を制御することが適切であるか否かは、例えば、電流測定手段 3 0 a により測定されたアース電流が所定範囲内であるかどうかによって判断される。

#### 【 0 0 3 2 】

図 1 に示すプラズマエッチング装置 1 0 においては、制御部 3 1 は、導波管 2 6 や空洞共振部 2 2 等にマイクロ波を供給するマイクロ波供給源 2 5 に接続され、加えて、下部電極 2 8 に高周波を印加してバイアス電圧を発生する高周波 ( R F ) 電源 2 9 に接続されているが、本発明はこれに限定されず、制御部 3 1 はマイクロ波供給源 2 5 のみに接続されていても良い。従って、本発明においては、

制御部 3 1 は、マイクロ波供給源 2 5 の電力および高周波電源 2 9 の電力の両方を制御するものでもよく、また、マイクロ波供給源 2 5 の電力のみを制御するものでもよい。

## 【 0 0 3 3 】

本発明の半導体製造装置は、基本的に以上のように構成されるが、以下に上記半導体製造装置の構成を参照して、本発明の被処理基板表面の処理方法およびプラズマ生成物の付着状態を観察する方法について詳細に説明する。

## 【 0 0 3 4 】

本発明の被処理基板表面の処理方法においては、処理の少なくとも一時期に、バイアス電圧を測定すると共に、少なくとも第 1 の電磁波であるマイクロ波の供給源 2 5 の電力を制御して、該バイアス電圧を所定範囲内に保持することを特徴とする。

## 【 0 0 3 5 】

バイアス電圧については、予め、基準バイアス電圧値を含む許容される所定範囲が設定されている。所定範囲は、目標となる基準バイアス電圧値を中心に、目標として許容される下限と上限とが設定される。具体的には、例えば、基準バイアス電圧値を中心に、その $\pm 2.5\%$ の範囲を所定範囲とするのが好ましい。所定範囲は予め制御部 3 1 に記憶されている。

## 【 0 0 3 6 】

所定範囲は、エッチングの各ステップ毎に設定されているのが好ましい。

被処理基板のエッチング層の変化により、同一のイオン密度でもバイアス電圧が異なる場合が考えられるが、このような場合でも、エッチングの各ステップでの好ましいバイアス電圧の所定範囲に一致していることが重要である。

## 【 0 0 3 7 】

電圧測定手段 3 0 b により測定されたバイアス電圧に対応する入力信号が、制御部 3 1 に入力され、測定されたバイアス電圧が所定範囲を上回る場合に、制御部 3 1 からマイクロ波供給源 2 5 にマイクロ波の電力の増大を指示する信号が入力され、これによりマイクロ波供給源 2 5 の電力が制御され、バイアス電圧が所定範囲内に保持される。



マイクロ波供給源25に入力される信号は、例えば、予め定められた一定幅の増大を指示するものであってもいい。この場合には、バイアス電圧を所定範囲内に保持するためには、バイアス電圧の測定とマイクロ波電力の制御とを繰り返し実施する。制御部31内で、測定されたバイアス電圧と所定範囲との差分を演算し、予め定められた補正式、もしくは補正テーブルに基づいて、バイアス電圧を所定範囲内に保持するために必要なマイクロ波電力増大量を算出してから、この増大量を指示する信号をマイクロ波供給源25に入力することも可能である。

一方、測定したバイアス電圧が所定範囲の下限を下回る場合には、制御部31からマイクロ波供給源25にマイクロ波の電力の減少を指示する信号が入力される。

#### 【0038】

このように、電圧測定手段30bによりバイアス電圧を測定することにより、チャンバ21内のイオン密度の変動を監視し、測定されたバイアス電圧に応じてマイクロ波供給源25を制御することによりバイアス電圧を所定範囲内に保持し、基板表面に入射するイオンのエネルギーを一定に維持することで、エッチングレートを一定とすることが出来る。それにより、低マイクロローディング効果、高選択性、高再現性、高精度加工を達成することが出来る。

#### 【0039】

チャンバ21内のプラズマのイオン密度の変動は、通常、付着物の堆積やアース電極21bの交換等によるチャンバ21内の環境の変化、すなわち、アース能力等の変化に起因していると考えられる。この場合には、第1の電磁波供給源であるマイクロ波供給源25の電力の制御で対応することが好ましい。この場合に第2の電磁波供給源である高周波電源29の電力の制御は不要である。むしろ、高周波電源29の電力の制御を行うことは逆効果である。すなわち例えば、プラズマ中の荷電粒子（イオン）の密度が増大している場合、高周波電源29の制御でバイアス電圧の制御を行おうとすると、高周波電源29の電力を増大させることになる。この結果、エッチングレートが増大してオーバーエッチングを引き起こしてしまう。

#### 【0040】

しかし、アース能力等以外の原因に起因してバイアス電圧の変動が発生する場合もある。このような場合には、バイアス源である高周波電源 29 の電力を制御することが好ましい。

マイクロ波供給源 25 の電力制御だけではバイアス電圧を所定範囲内に保持することができない場合に、すなわち例えば、マイクロ波電力に対して予め定められた可変範囲内でマイクロ波電力を調整しても、バイアス電圧を所定範囲内に保持することができない場合に、さらに、高周波電力を制御して、バイアス電圧を所定範囲内に保持することも可能である。

#### 【0041】

また、バイアス電圧の変動を検出したときに、アース電流の測定を行い、予め定められた所定範囲との比較を行って、バイアス電圧の変動がアース能力等の変動に起因するか否かを判定し、その判定結果に基づいて、マイクロ波電力を制御すべきか高周波電力を制御すべきかを決定することも可能である。すなわち、アース電流の測定値が所定範囲から逸脱している場合には、特に、その逸脱の方向が、アース能力変動に起因すると解釈できる方向である場合には、バイアス電圧の変動がアース能力等の変動に起因すると判断し、マイクロ波電力を制御する。一方、アース電流が所定範囲内である場合、もしくは、アース能力変動に起因すると解釈できる変動の方向とは逆の方向へ、所定範囲から逸脱している場合には、アース能力等の変動に起因しない変動であると判断し、高周波電力を調整する。

#### 【0042】

このような場合、アース電流についても、予め、基準アース電流値を含む許容される所定範囲を設定する。所定範囲は、目標とする基準アース電流値を中心に、目標として許容される下限と上限とが設定される。具体的には例えば、基準アース電流値を中心にして、その±8%の範囲を所定範囲とすることが好ましい。所定範囲は、エッチングの各ステップ毎に設定されているのが好ましい。所定範囲は予め制御部 31 に記憶されている。

#### 【0043】

なお、本発明の被処理基板表面の処理方法による処理を継続的に行う場合、マ

マイクロ波電力の制御によって、マイクロ波電力を初期の設定値とは異なる値に変更して、処理を継続する場合がある。この変更の後に再びバイアス電圧の変動が検出された場合に、その変動がアース能力等の変動に起因するか否かを判定するためには、アース電流の所定範囲を、マイクロ波電力に依存する形式で設定することが好ましい。もしくは、マイクロ波電力を変更した場合に、その直後のアース電流を測定し、制御部31に記憶しておき、再びバイアス電圧の変動が検出された場合には、その時点でのアース電流と記憶されたアース電流との比較を行って、変動の原因を判定することも可能である。すなわち例えば、マイクロ波電力変更直後からのアース電流の変動が、予め定められた許容変動幅（絶対値もしくは比率）を超える場合には、アース能力の更なる変動が発生したと判断し、再びマイクロ波電力を制御し、許容変動幅内である場合には、アース能力等の更なる変動が発生していないと判断し、高周波電力を制御する。

## 【0044】

チャンバ21の内壁やアース電極21bに付着物が堆積し始めると、バイアス電圧を変動させなくても、チャンバ内壁やアース電極からの付着物成分の脱離でプラズマ中の活性種の構成比が変動しうる。このような場合、被処理基板の処理数の増加と共に、下地選択性が変化したり、エッチングしているホールのテーパが変動してしまう。従って、バイアス電圧が変動する場合はもちろん、変動しない場合でも、アース電流の変動を監視することは好ましい。

## 【0045】

本発明の被処理基板表面の処理方法では、バイアス電圧の測定は、被処理基板表面の処理の少なくとも一時期に行われる。測定が行われるのが、処理の期間中、1回でも2回以上でもよく、また、処理の全期間にわたって常時、繰り返し、もしくは連続的に測定しても良い。実際の被処理基板表面の処理を行っている期間中に常時バイアス電圧を測定し、所定範囲内に保持されるようにマイクロ波電力を制御することにより、ウェハ1枚1枚について、バイアス電圧が所定範囲から外れる期間が発生することを防止でき、エッチングレートを一定に保持することが出来、より高度な寸法安定性、高再現性、さらに高選択性を得、マイクロローディング効果を低減することができる。

## 【0046】

このように、実際に被処理基板表面の処理を行っている期間中にリアルタイムでバイアス電圧の測定を行い、マイクロ波電力の制御を行うことにより、特に顕著な効果を得ることができる。しかし、アース電極交換時など、チャンバ内の環境の大きな変化が予想される時には、まず、ダミーウェハを使用して、バイアス電圧の測定およびマイクロ波電力の制御を行い、所定範囲内のバイアス電圧が発生する状態に装置を調整してから、実際の被処理基板表面の処理を開始することが好ましい。この場合には、実際に被処理基板表面の処理を行っている期間中ではないが、そのための装置準備を含めた処理全体の中の一時期に、バイアス電圧の測定およびマイクロ波電力の制御が行われる。もちろん、準備段階での測定、制御と、実際の被処理基板表面の処理期間中のリアルタイムの測定、制御との、両方を併用することがさらに好ましい。

## 【0047】

次に、本発明の被処理基板表面の処理方法の一実施例において、バイアス電圧を、第1の電磁波の電力、あるいはさらに第2の電磁波の電力を制御して、所定範囲内に保持する方法を、図2に示すフローチャートに基づき説明する。

## 【0048】

制御が開始されると、S1において、測定されたバイアス電圧がエッチングに先立ち予め設定されているバイアス電圧の所定範囲の上限以下かが判断される。上限以下でないと判断されると、S2において、アース電流がエッチングに先立ち予め設定されているアース電流の所定範囲の上限以下かが判断される。上限以下でないと判断されると、S3において、第1の電磁波供給源の電磁波を発生させるマグネトロンの出力（すなわち、第1の電磁波供給源の電力）が許容範囲内かが判断される。許容範囲内でないと判断されると、これは、プラズマエッチング処理の異常と判断して、アラームを発する。このアラームにより異常なプラズマ処理を未然に防止することができる。許容範囲内であると判断されると、マグネトロンの出力を上げるよう指示する信号が、前述の制御手段よりマグネトロンの出力され、この後、S1に戻る。

## 【0049】

S 2 において、アース電流がエッチングに先立ち予め設定されているアース電流の所定範囲の上限以下であると判断されると、S 4 において、第 2 の電磁波供給源である高周波電源 (R F) の出力 (すなわち、第 2 の電磁波供給源の電力) が許容範囲内かが判断される。許容範囲内でないと判断されると、アラームを発する。許容範囲内であると判断されると、R F の出力を下げるよう指示する信号が、前述の制御手段より R F に出力され、この後、S 1 に戻る。

## 【 0 0 5 0 】

一方、S 1 において、測定されたバイアス電圧がエッチングに先立ち予め設定されているバイアス電圧の所定範囲の上限以下であると判断されると、S 5 において、バイアス電圧は所定範囲の下限以上であるかが判断され、下限以上でないと判断されると、S 6 において、アース電流は下限以上かが判断される。下限以上でないと判断されると、S 7 において、エッチング処理を開始する前に行われたプラズマクリーニング後、被処理基板の処理枚数は N 枚以下かが判断される。N 枚以下でないと判断され、すなわち、N 枚が相当な枚数であれば、チャンバ壁に付着するプラズマ生成物の堆積が進んでいると考えられるので、プラズマクリーニングが実施される。N は、例えば、1 ロットに含まれるウェハの枚数の値から選択して、1 ロットの中でプラズマクリーニングが必要かが判断されてもよいし、2 つのロットをまとめた 2 カセットでのウェハの枚数の値から選択して、2 カセットの範囲で判断される値としてもよく、任意に設定される値である。

## 【 0 0 5 1 】

しかし、N 枚以下であると判断された場合は、エッチング処理を開始してから処理枚数が少ないのであるから、プラズマ生成物の堆積が原因ではないので、次に、S 9 において、マグネトロンの出力が許容範囲内かが判断される。許容範囲内でないと判断されると、これは、プラズマエッチング処理の異常と判断して、アラームを発する。許容範囲内であると判断されると、マグネトロンの出力を下げるよう指示する信号が、前述の制御手段よりマグネトロンの出力され、この後、S 1 に戻る。

## 【 0 0 5 2 】

S 6 において、アース電流は下限以上であると判断されと S 8 において、第 2

の電磁波供給源である高周波電源の出力が許容範囲内かが判断される。許容範囲内でないと判断されると、アラームを発する。許容範囲内であると判断されると、RFの出力を上げるよう指示する信号が、前述の制御手段よりRFに出力され、この後、S1に戻る。

## 【0053】

S5において、バイアス電圧は所定範囲の下限以上であると判断されると、エッチング処理は続行される。

## 【0054】

## 【実施例】

以下に、本発明の実施例を示し、本発明をさらに具体的に説明する。ここでは、図1に示す、本発明の半導体製造装置の一実施例である、ECR励起を利用したプラズマエッチングを行うプラズマエッチング装置10を使用して、ポリシリコン膜のエッチングに適用した場合を、従来のECRエッチング装置を使用した場合と対比して説明する。

## 【0055】

## (実施例1、比較例1)

サンプルとして、シリコン基板上に熱酸化により4nmのゲート酸化膜を形成し、その後、CVD法でundoped poly Siを200nm堆積したものに、線幅凡そ0.15 $\mu$ mのレジストパターンを形成したものをを用いた。

上記サンプルをCl<sub>2</sub>-HBr-O<sub>2</sub>系プラズマでエッチングし、エッチング前後の寸法差を測長SEMで計測した。

## 【0056】

図3は、SF<sub>6</sub>系のプラズマクリーニングを実施後、ウェハ100枚の連続処理を行った場合の、加工変換差について、本発明の基板表面の処理方法に従って、バイアス電圧が所定範囲内に入っていて略一定となるよう、プラズマを生成するための電磁波供給源を制御した実施例1(図3に示すグラフ中、▲で示す)と、電磁波供給源を制御を行わずに、一定電力の供給を続けた比較例1(図3に示すグラフ中、○で示す)での、加工変換差シフト量の推移を示したものである。縦軸が加工変換差シフト量[ $\mu$ m]、横軸が処理枚数である。

## 【0057】

実施例1、比較例1において、ガス流量、チャンバ内圧力、バイアス電圧を印加するための高周波電源の電力および周波数は以下のとおりであった。

$\text{Cl}_2$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{O}_2$  流量: 50 sccm, 50 sccm, 5 sccm

チャンバ内圧力: 0.5 Pa

高周波電源の電力および周波数: 30 W, 800 KHz

バイアス電圧の所定範囲:  $\pm 2.5\%$

## 【0058】

比較例1では、100枚の連続処理で、加工変換差シフト量が $+0.01\mu\text{m}$ 以上であったのに対し、実施例1では $+0.005\mu\text{m}$ 以下であった。

## 【0059】

(実施例2、比較例2)

サンプルとして、シリコン基板上に熱酸化により4nmのゲート酸化膜を形成し、その後、CVD法でundoped poly Siを200nm堆積したものにレジストパターンを形成したもの(製品サンプル)と、シリコン基板上に熱酸化により100nmの熱酸化膜を形成し、レジストパターンを形成したもの(選択比測定用サンプル)を用いた。

上記製品サンプルのエッチングを行うと共に、定期的に、上記サンプルを一般的なオーバーエッチング条件である $\text{HBr}-\text{O}_2$ 系プラズマでエッチングし、エッチング前後の膜厚差を光学式膜厚計で計測し、酸化膜に対するpoly Siの選択比(エッチング速度比)を算出した。

## 【0060】

図4は、製造ラインで使い古されたアース電極を交換した前後に、本発明の基板表面の処理方法に従って、バイアス電圧が所定範囲内に入っていて略一定となるよう、プラズマを生成するための電磁波供給源を制御した実施例2(図4に示すグラフ中、▲で示す)と、電磁波供給源を制御を行わずに、一定電力の供給を続けた比較例2(図4に示すグラフ中、○で示す)での、poly Si/ $\text{SiO}_2$  エッチングレート比(poly Si/ $\text{SiO}_2$  選択比)の変化について示したものである。縦軸がpoly Si/ $\text{SiO}_2$  選択比、横軸が放電時間の累

積値 [hr] である。

【0061】

実施例 2、比較例 2 において、ガス流量、チャンバ内圧力、バイアス電圧を印加するための高周波電源の周波数は以下のとおりであった。

HBr, O<sub>2</sub> 流量: 100 sccm, 5 sccm

チャンバ内圧力: 1.5 Pa

高周波電源の周波数: 800 KHz

バイアス電圧の所定範囲: ±2.5%

【0062】

比較例 2 では、アース電極交換により、アース能力が急激に回復し、バイアス電圧が増大し、イオンアシストでエッチングされる SiO<sub>2</sub> がより選択されたため、poly Si/SiO<sub>2</sub> 選択比が 20% 以上低下したが、実施例 2 では、選択比はアース電極交換の影響をほとんど受けず、プロセス性能が安定に維持されたことが分かる。

【0063】

【発明の効果】

本発明によれば、バイアス電圧、あるいはさらに、プラズマからチャンバ内壁もしくはアース電極に流れるアース電流を監視することにより、プラズマの状態を把握することが出来、プラズマ密度や、入射イオンエネルギー等のプラズマの状態を一定範囲に保つように、プラズマを生成するために印加される第 1 の電磁波供給源の電力を制御することにより、被処理基板に入射するイオンエネルギーを一定にすることができる。

【0064】

この結果、本発明によれば、チャンバクリーニングやパーツ交換、連続処理による反応生成物の付着の影響を受けることなく、常に一定のプロセスを維持することが出来る。すなわち、チャンバ内の環境の変化による、マイクロローディング効果、エッチングストップ、下地選択性の悪化、加工変換差のシフト等を抑止することが出来る。

【図面の簡単な説明】



【図 1】 本発明の半導体製造装置の一実施例を模式的に表した断面図である。

【図 2】 本発明の基板処理の方法の一実施例における、制御手段の動作を概略的に示したフローチャートである。

【図 3】 基板表面の処理において、バイアス電圧を所定範囲内に保持する制御を行ってプラズマエッチングを行ったときと、バイアス電圧を制御せずにプラズマエッチングを行ったときの、エッチング前後の寸法差を示すグラフである。

【図 4】 基板表面の処理において、バイアス電圧を所定範囲内に保持する制御を行ってプラズマエッチングを行ったときと、バイアス電圧を制御せずにプラズマエッチングを行ったときの、アース電極交換前後の下地選択比の変化を示すグラフである。

【図 5】 ECR 励起を利用した従来の半導体製造装置を模式的に示した断面図である。

【図 6】 マイクロローディング効果により SiN エッチングで開口不良が生じたウェハを表す模式図である。

【図 7】 バイアス電圧変動により SiN エッチング時に下地酸化膜抜けが生じたウェハを表す模式図である。

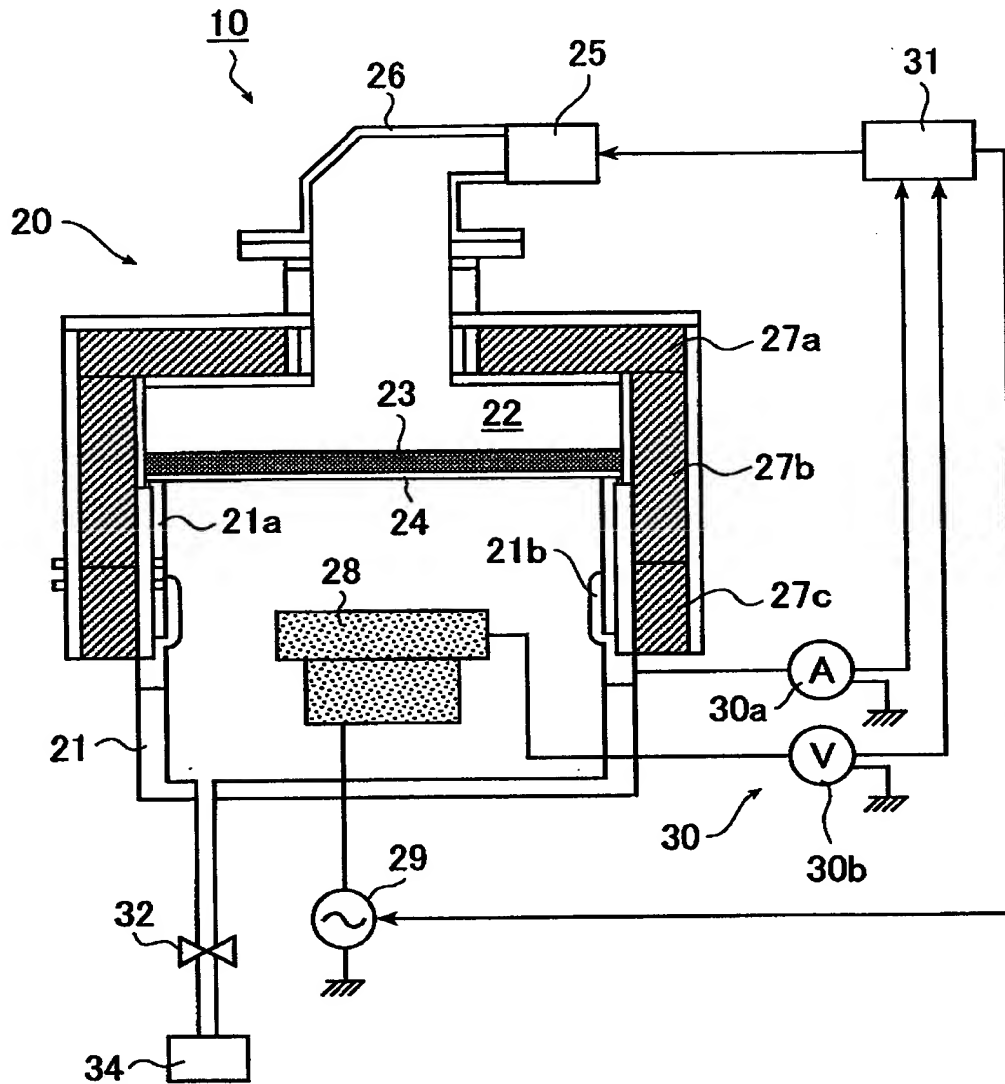
【符号の説明】

- 10 プラズマエッチング装置
- 20 プラズマ源
- 21 チャンバ
- 22 空洞共振部
- 23 石英天板
- 24 ガスシャワープレート
- 25 マイクロ波供給源
- 26 導波管
- 27a コイル
- 27b コイル
- 27c コイル

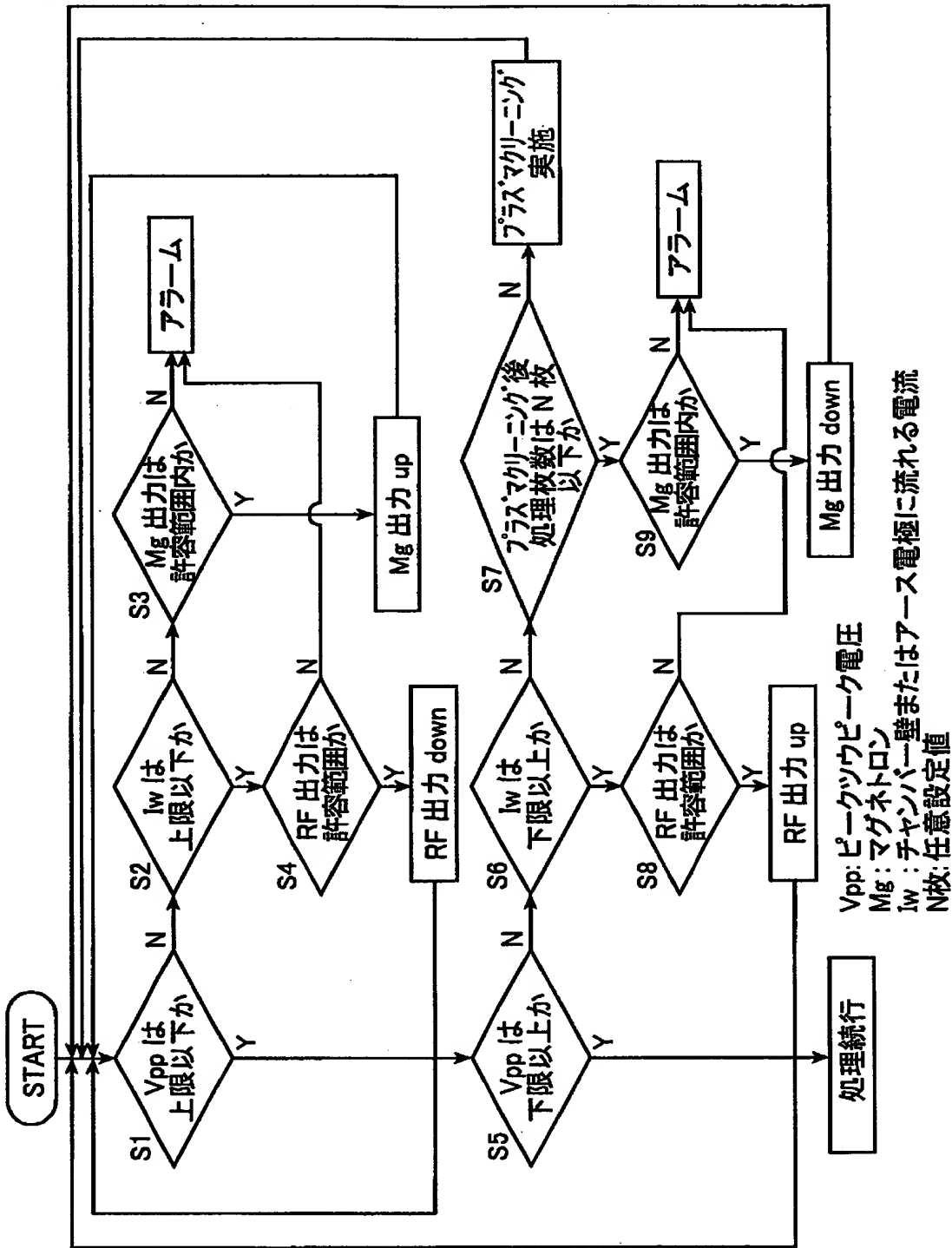
- 28 下部電極
- 29 高周波電源
- 30 測定部
  - 30a アース電流を測定する第1の測定手段
  - 30b バイアス電圧を測定する第2の測定手段
- 31 制御部
- 32 可変コンダクタンスバルブ
- 34 真空ポンプ

【書類名】 図面

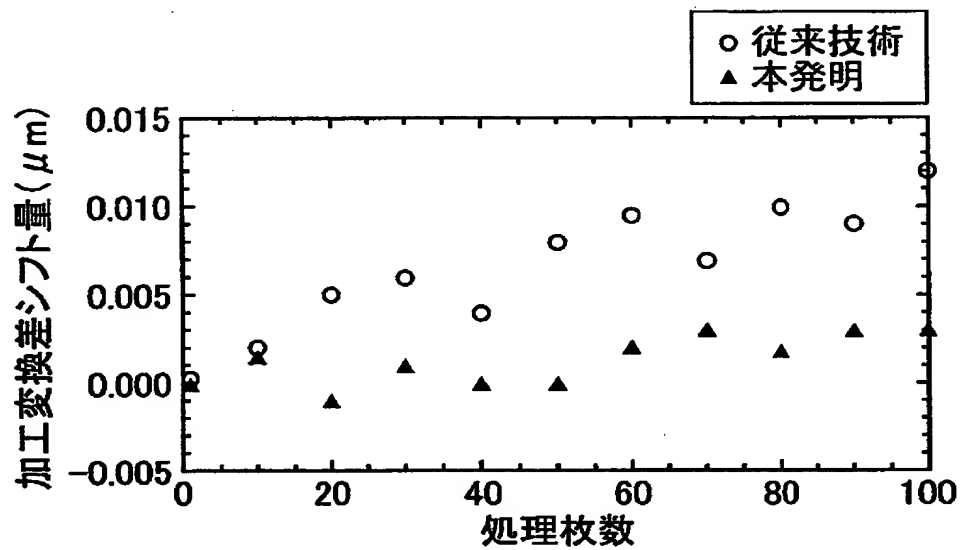
【図 1】



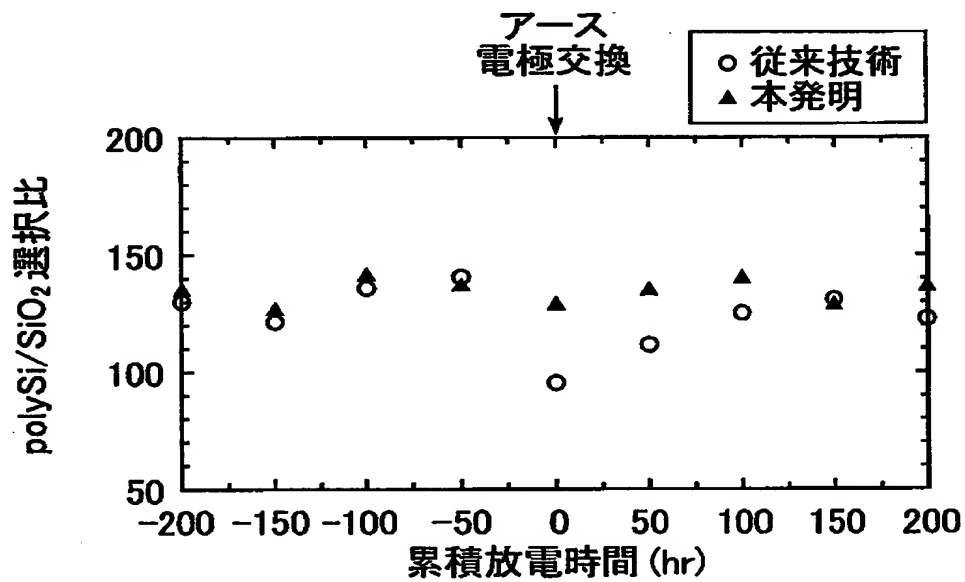
【図 2】



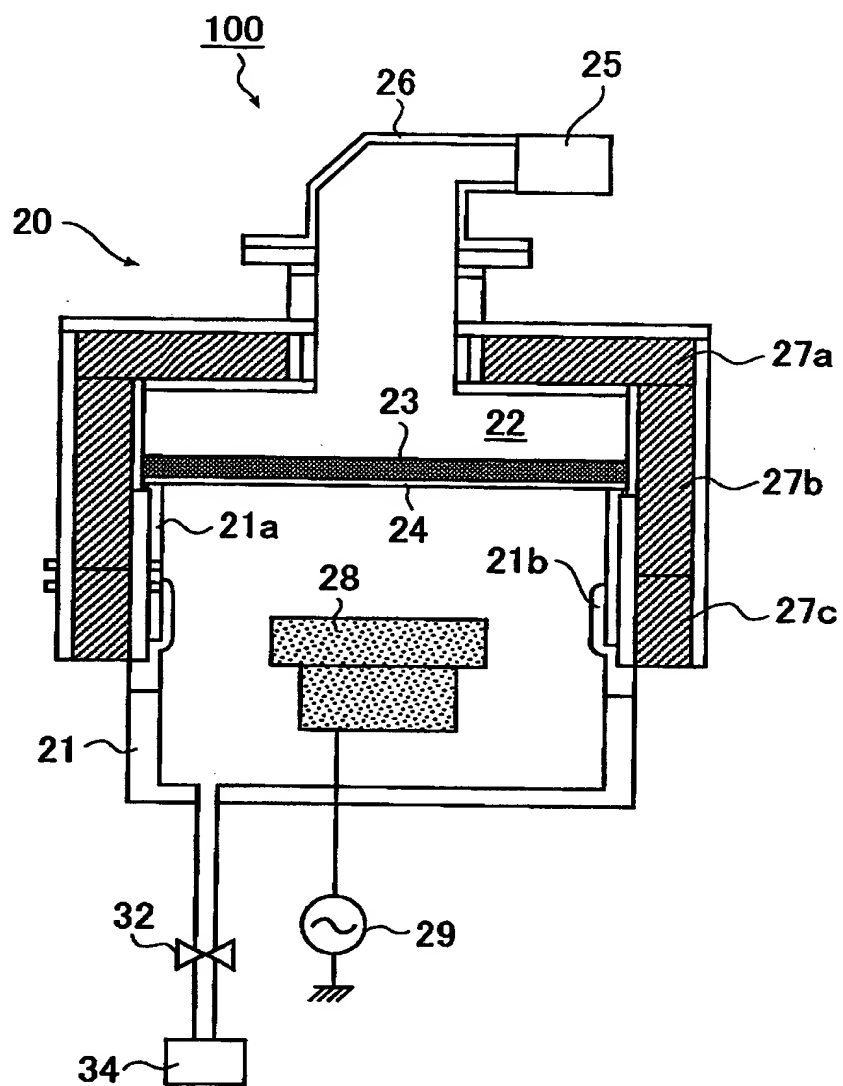
【図 3】



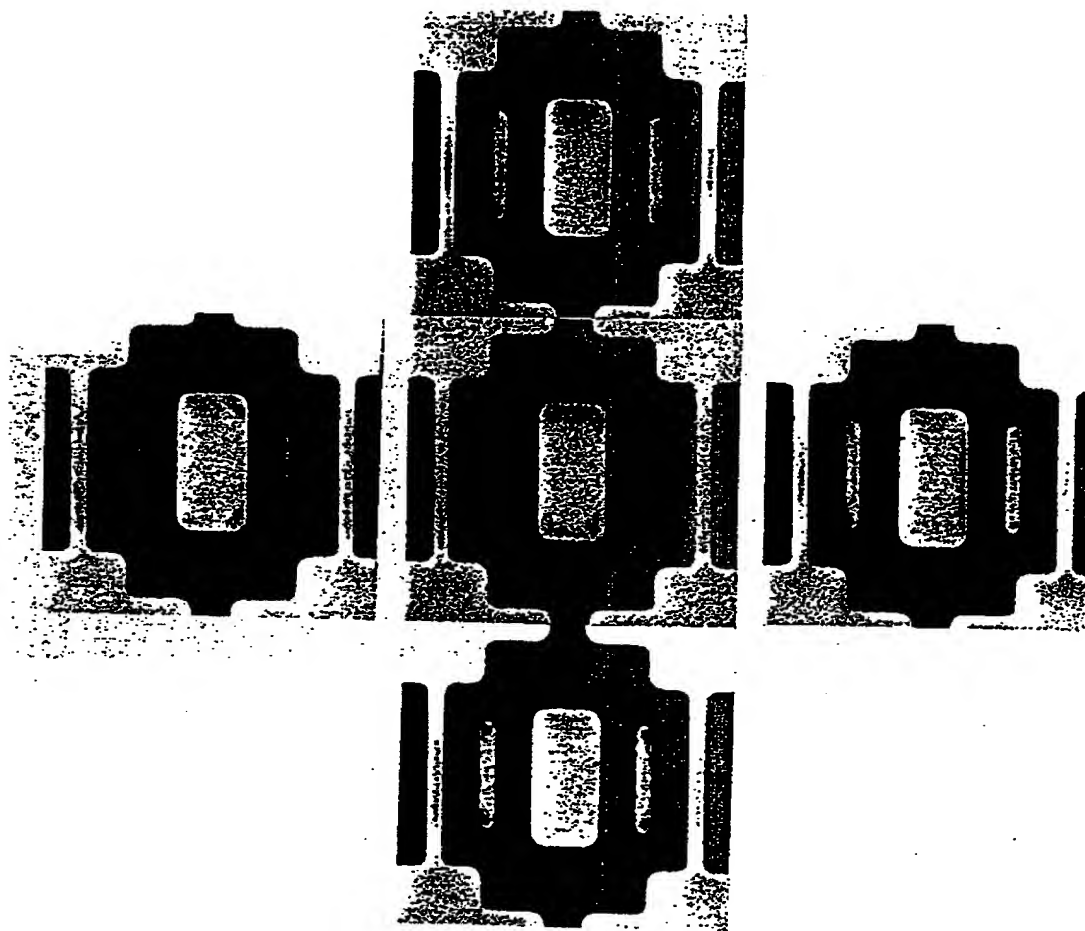
【図 4】



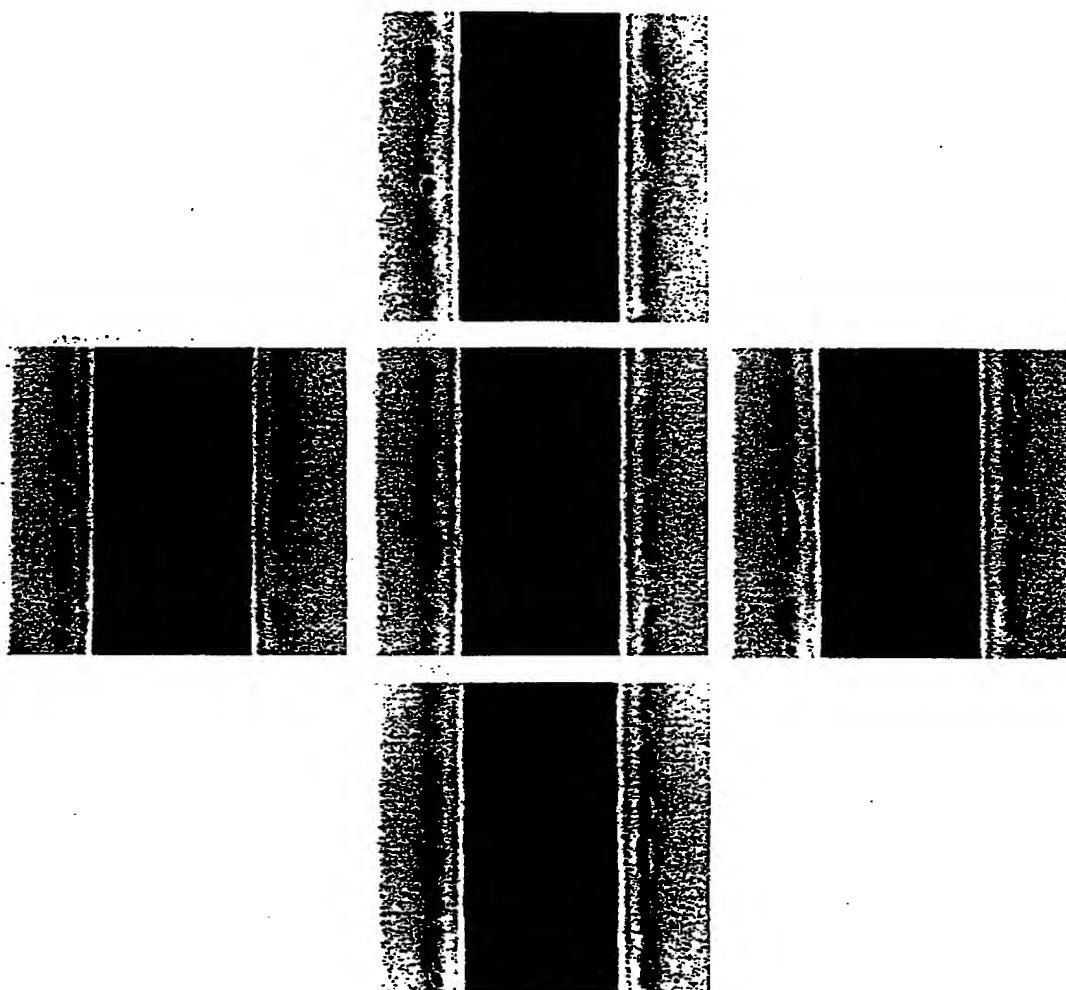
【図 5】



【図6】



【図7】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 常に一定のエッチングレートでプロセスを維持することができ、低マイクロローディング効果、高選択性、高再現性、高精度加工を可能とする半導体製造装置および該半導体製造装置を用いた被処理基板表面の処理方法の提供。

【解決手段】 プラズマエッチングにより被処理基板表面を処理する装置であって、チャンバ内のガス雰囲気、第1の電磁波を印加して前記プラズマを生成するプラズマ源と、前記被処理基板に前記プラズマ中の荷電粒子を入射させるために第2の電磁波を印加して前記バイアス電圧を発生させるバイアス源と、前記バイアス電圧を測定する測定手段と、前記第1の電磁波の電力を制御することによって前記バイアス電圧を所定範囲内に保持する制御手段とを有することを特徴とする半導体製造装置。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001258]

1. 変更年月日 1990年 8月13日

[変更理由] 新規登録

住 所 兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

氏 名 川崎製鉄株式会社